

**SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN EN CUATRO CULTIVARES DE  
PLÁTANO EN EL EJE CAFETERO COLOMBIANO**

**ANDRÉS FELIPE CARDONA SANTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE  
PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES  
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL  
PEREIRA  
2017**

**SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN EN CUATRO CULTIVARES DE  
PLÁTANO EN EL EJE CAFETERO COLOMBIANO**

**ANDRÉS FELIPE CARDONA SANTA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al  
título de Administradora Ambiental**

**Director**  
**Alexander Feijoo Martínez, PhD.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE  
PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES  
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL  
PEREIRA  
2017**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL DIRECTOR****PEREIRA, DICIEMBRE DE 2017**

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi abuela Yamilet Santa.

El resultado de todo el esfuerzo y dedicación que hoy culmina en este trabajo de grado se lo dedico a mi madre Luz Dary Cardona por su enseñanza y esfuerzo, a mi primo Jeffersson Rodríguez Cardona por su apoyo incondicional, ejemplo de lucha y perseverancia frente a la vida. A mis familiares por su constante motivación a cumplir las metas trazadas, y a los buenos amigos que se forjaron durante mi paso por la academia.

¡Mil gracias para todos!

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento muy especial a cada familia de los agricultores que ofrecieron sus fincas para llevar a cabo los diferentes proyectos. Además, por permitirnos aprender y vivir las experiencias cotidianas en el campo y enseñarnos su invaluable saber frente al manejo del plátano con el grupo de investigación.

Gratitud al grupo de investigación, Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA), en cabeza del profesor Alexander Feijoo por la orientación y motivación antes y durante el desarrollo del proyecto de grado, a las docentes María Constanza Zúñiga y Ligia Janneth Molina por sus valiosos aportes al trabajo, su carisma, buena energía y sentido de pertenencia por el mundo de la investigación.

Al semillero de investigación en Planificación Socioecológica del Paisaje y a sus integrantes, Alejandra López, Daniela Giraldo, Daniela López, Jorge Correa. Stefanía Giraldo, Alejandra Gómez y a mi buen amigo Joven Wayne Luis Fernando Zuluaga por los aportes durante el trabajo de campo y realización del proyecto.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Ambientales, y a los docentes Uriel Hernández, Carlos Andrés Sabas, Juan Mauricio Castaño, y Norma Castro por su apoyo durante mi instancia en la carrera y por brindarme espacios de formación en el grupo de investigación E.I.S, y Gestión Cultural. A Julieta Loaiza López por su constante motivación, consejos y apoyo para cumplir mis sueños a ellos mil gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN .....	10
1. OBJETIVOS.....	15
1.1    Objetivo General.....	15
1.2    Objetivos Específicos .....	15
2. METODOLOGÍA .....	16
2.1    Área de estudio .....	16
2.2    Parámetros físicos de los suelos en cuatro arreglos de plátano .....	19
2.3    Comparar las interacciones entre las variables físicas y arreglos de plátano .....	20
2.4    Líneas de acción para los principales efectos que alteran los servicios ecosistémicos del suelo. ....	21
2.5    Análisis de datos.....	22
3. RESULTADOS .....	23
3.1    Diferenciación de la fluctuación de las variables físicas en fincas de Armenia.....	23
3.2    Fluctuaciones de las variables físicas en cuatro arreglos de plátano. ....	23
4. DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES .....	40
RECOMENDACIONES .....	41
REFERENCIAS .....	42

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de las 33 fincas en el departamento del Quindío. ....	18
Figura 2. Metodología de muestreo adaptada de Anderson y Ingram, 1993. ....	19
Figura 3-Localización de los sitios (arreglos) en función de los dos primeros factores arrojados por el análisis de componentes principales para las 24 variables, el cual incluye el peso de los Factores 1 (35.2%) y 2 (23%), localización de los 4 arreglos, de acuerdo con la correlación y posición y relación con los factores. ....	25
Figura 4. ACP para las variables físicas del suelo en fincas del municipio de Armenia .....	25
Figura 5. Valores de densidad aparente en cuatro arreglos de plátano .....	26
Figura 6. Agregados estables del agua > 2mm y 0.5-0.25 mm. ....	27
Figura 7. Resultado de la porosidad total. ....	28
Figura 8. Resultado de los macroporos por cultivar.....	29

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-Principales correlaciones entre los variables de cuatro tipos de arreglo de plátano y los factores extraídos por el análisis de componentes principales. ....	25
Tabla 2. Variables físicas de suelos con diferencias significativas entre arreglos de plátano agrupado por servicios ecosistémicos de estructura e hidrológico. ....	29
Tabla 3. Parámetros y servicios ecosistémicos agrupados .....	30
Tabla 4 Línea de acción para fortalecer los SE en el arreglo de monocultivo. ....	38

## RESUMEN

Los agroecosistemas proveen servicios ecosistémicos (SE) a una escala local, que se relaciona entre sí por las sinergias positivas y negativas entre los parámetros de física. Este trabajo diferencio el aporte y transformación de las variables del suelo a diferentes arreglos de plátano *Musa paradisiaca*, en el departamento de Quindío, Colombia. En la fase experimental se muestrearon 33 fincas de suelos franco arenoso a 0-10 cm de profundidad, donde se evaluaron 24 parámetros, para un total de 198 muestras, agrupadas en cuatro arreglos con seis (6) puntos de muestreo en cada finca y tamaños muestrales por tipo de cultivar, distribuidos de la siguiente manera: i) Tradicional arbóreo (n=60) , ii) Asociado con Aguacate (n=48), iii) Asociado con café(n= 48 y iv) monocultivo (n= 48).

La comparación entre las variables físicas y arreglos de plátano se exploraron mediante tratamiento estadístico ANOVA paramétrica y no paramétrica con prueba de comparación test de Tukey ( $p < 0,05$ ) con diferencias significativas para densidad aparente, porosidad total, macroporos, humedad volumétrica a 0 cm, estabilidad de agregados mayores a 2 mm y 0.5-0.25 mm. El análisis de componentes principales (ACP), definió las variables sensibles por su representatividad en el CP1 y CP2 como fue la densidad aparente, macroporos, porosidad total y estabilidad de agregados a 0.5-0.25 mm, que fueron agrupadas en servicios ecosistémicos de estructura e hidrológicos del suelo. Por consiguiente, el sistema tradicional arbóreo (TA) presento mayor respuesta en los servicios de estructurales e hidrológicos, a diferencia del monocultivo (MONO) con disimilitud en los servicios ecosistémicos del suelo. Por tanto, se encontró que el tipo de agroecosistema influye en la modificación de la estructura del suelo, y en la variación de sus propiedades.

**Palabras clave:** *M. paradisiaca*, propiedades físicas de suelos, y sinergias.



## ABSTRACT

The agrosystems provide ecosystemic services (ES) at the local level. Which are related to each other because of the positive and negative synergies in the parameters of physics. This work differentiated the contribution and transformation of the soil variables to different plantain arrangements *Musa paradisiaca*, in the department of Quindío, Colombia. In the experimental stage some samples of Sandy loam soils were taken from 33 farms at 10 cm Depth. 24 parameters were evaluated, for a total of 198 samples, grouped in four arrangements with six sampling points in every farm and sample sizes distributed as follows: i) Traditional arboreal (n=60), ii) Associated with Avocado (n=48), iii) Associated with coffee (n= 48 y iv) monoculture (n= 48). The comparison between the physical variables and plantain arrangements was explored through statistical treatment with ANOVA parametric and non-parametric with the comparison test called Tukey test ( $p < 0.05$ ) with significant differences for bulk density, total porosity, macropores, volumetric humidity at 0 cm, stability of aggregates greater than 2 mm and 0.5-0.25 mm. The analysis of main components (ACP), defined the sensitive variables by their representativeness in CP1 and CP2 as was the apparent density, macropores, total porosity and stability of aggregates at 0.5-0.25 mm, which were grouped into ecosystem services of structure and hydrological of the soil. Therefore, the traditional arboreal system (TA) presented a greater response in structural and hydrological services, unlike monoculture (MONO) with dissimilarity in soil ecosystem services.

Hence, It was found that the type of agroecosystem influences the modification of the structure of the soil, and the variation of its properties.

## INTRODUCCIÓN

Los seres humanos obtienen numerosos beneficios de los sistemas naturales que nos rodean, así como de la biodiversidad que estos albergan; entendido como los servicios ecosistémicos (SE) producto de la relación que recibe la sociedad con los ecosistemas. Los SE son definidos por MA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) en cuatro categorías: i) servicios de aprovisionamiento (o servicios de abastecimiento); ii) servicios de regulación; iii) servicios culturales; y iv) servicios de soporte; que son los beneficios que las comunidades humanas reciben a partir de los procesos, funciones e interacciones armónicas con los ecosistemas (Caixeta, y Romeiro, 2009).

Los servicios de regulación hacen parte de una categoría de los SE y son de gran relevancia para el bienestar humano; se obtienen directamente de los ecosistemas, sin pasar por procesos de transformación, como es el caso del aire limpio, el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos y la prevención de enfermedades, entre otros regulación, su relación con la calidad del agua, el aire, el control biológico y la biodiversidad; entre otros. En este contexto la gama de ecosistemas existentes en el planeta, y particularmente en América Latina, brinda diversos servicios ecosistémicos de regulación, que han sido clasificados de diversas formas (Gómez-Groot, 2007)

No obstante, los SE, se ven afectados por la sociedad humana y la presión ejercida sobre ellos, producto de las actividades antrópicas que someten a grandes presiones los ecosistemas naturales, afectados por el cambio en el uso del suelo, la contaminación de los cuerpos de agua, la desaparición de especies y la reducción de sus hábitats, entre otros aspectos (Díaz et al, 2006).

Dichas presiones afectan tanto la estructura y el funcionamiento como la propiedad resiliente de los ecosistemas, al igual que la capacidad que estos tienen de ofrecer servicios a la sociedad. Una clara visión de la presión sobre los SE es lo descrito por Rydberg et al (2007) donde el

paisaje agrícola ha disminuido su capacidad o habilidad para generar servicios ecosistémicos. Por tanto la presión agrícola está sujeta a las actividades sociales y económicas que en un país o región estén relacionadas con el agro; y dependen fundamentalmente del manejo adecuado, racional y productivo que se dé a las tierras agrícolas, ganaderas y forestales sobre las cuales se realizan estas actividades (Amézquita y Escobar, 1996).

Así mismo, según el grado de intervención de la sociedad, el manejo y las decisiones tomadas sobre los agroecosistemas influirán significativamente en el futuro bienestar de la región y la forma de producir que deberán enfrentar futuras generaciones (Francis et al, 2008). En la zona cafetera colombiana las decisiones sobre los agroecosistemas en el departamento del Quindío han fomentado que 48.327 hectáreas padecen de sobreutilización (uso desmesurado de los recursos naturales para la agricultura y ganadería), fenómeno que se da en el 25 por ciento del departamento (IGAC, 2015).

Además, el territorio presenta vocación agrícola donde el 12,8 por ciento del territorio (24 mil hectáreas) está ocupado por cafetales, ya sea a plena exposición, con semi-sombra o sombra. Por su parte, el 6,5 por ciento está ocupado por el plátano (12,5 mil hectáreas), hecho que la consolida como la segunda cobertura de cultivos predominante en el departamento (IGAC, 2015).

Aunque el café sigue prevaleciendo en la zona, el IGAC manifestó que el plátano le está pisando los talones, y que en pocos años podría hasta superar a las tradicionales parcelas cafeteras, ya que los campesinos y agricultores mezclan estos dos productos en sus cultivos para percibir más ingresos. Al plátano le sigue el cultivo de banano, que se da en el 0,7 por ciento del departamento (1,340 hectáreas).

Simultáneamente en la región con todo el proceso de transición de cultivos de café a otras

especies incluido el plátano, derivan cambios en la dinámica del suelo, de acuerdo con Feijoo et al (2014) las variaciones en el uso del terreno en el municipio de Armenia, también se relacionan con los procesos de transformación del paisaje con cambios desde relictos de selva Sub-Andina y Andina a café con sombrío, a monocultivo de café, a pastizales y posteriormente a plátano, hecho que ha impactado en la calidad de los suelos, en las dinámicas culturales de los agricultores y en los servicios del ecosistema (Feijoo et al., 2014).

Por tanto, las transiciones de los cultivos en el territorio del Quindío proveen unas dinámicas que afectan el estado de los suelos y estos a su vez influyen en los SE, pero se debe tener en cuenta que los agroecosistemas pueden contribuir a mejorar los SE, de acuerdo a Harvey y Zhang (2007) es cierto y muchos estudios muestran que los ecosistemas naturales brindan una gama completa de bienes y servicios, pero los sistemas manejados como las plantaciones forestales y los agroecosistemas, también ofrecen servicios muy valiosos, aunque en un grado diferente; al mismo tiempo, su relevancia cobra auge por los beneficios que provee y por su estrecha relación con el resto de servicios (agua, biodiversidad, fijación de carbono, entre otros) (Medina Fernández et ál. 2006, Swinton 2007).

En congruencia con lo anterior, los agroecosistemas son de vital importancia para mejorar los SE en la escala local, regional y global, pero lo encontrado por Van den Belt y Blake (2014) consideran la necesidad de realizar investigaciones que cuantifiquen la prestación de múltiples servicios y los compromisos y las sinergias entre ellos. Howe et al., (2014). Entonces, hoy en día es un desafío para los investigadores encontrar caminos de evaluación cuantitativa que integren ambos contextos para contabilizar el aporte realizado por los servicios ecosistémicos hacia y desde el agroecosistema.

No solo el agroecosistema visto por separado sino desde sus múltiples conexiones, se asocia

con lo afirmado por Martín-López (2012), las sinergias entre servicios ecosistémicos que se relacionan entre sí se manifiestan en una evolución conjunta positiva, lo que implica que un aumento en el suministro de uno de ellos implica un aumento en el suministro de los otros, por ejemplo el mantenimiento de la fertilidad del suelo propicia el reciclado de nutrientes y la productividad primaria, que a su vez aumentan la capacidad de almacenar carbono y por su capacidad de regulación climática.

En tanto, en los agroecosistemas hay propiedades que pueden verse afectadas por el tipo de manejo provisto por las decisiones del agricultor, las cuales modifican y varían las propiedades físicas asociadas con ella, como densidad aparente, estabilidad estructural del suelo, comportamiento hidrológico del suelo, capacidad de almacenamiento y otros parámetros.

Una de las maneras de comprender estas conexiones entre el manejo y el estado del suelo es por medio de las interrelaciones entre los parámetros de física de suelos, además de la identificación de indicadores de calidad del suelo que son una herramienta útil para definir las condiciones en las que se encuentra el suelo por medio de sus debilidades y atributos como sistema. También es una herramienta que funciona como monitor de las condiciones del suelo durante el tiempo y espacio (Pérez, 2010; Cruz et al., 2004).

Al mismo tiempo, hay una tendencia a estudiar el sistema suelo, cuantitativamente, en forma más integradora y holística. Dicho lo anterior, en el país se han efectuado estudios de física de suelos a niveles regionales y nacionales. Sin embargo, documentación relacionada con servicios hidrológicos del suelo son escasas. Acorde con CONDESAN (2010) “al afirmar que es necesario emprender nuevas iniciativas de investigación en el tema que no solo se enfoquen en medir lluvia y escorrentía, sino que también estudien los procesos de hidrofísica del suelo”.

El trabajo da cuenta de la importancia de enfoques de SE del suelo al ser interpretado como

un sistema sinérgico entre las variables y arreglos del plátano con la finalidad de ser insumo a futuras investigaciones, y fortalecimiento de nuevas líneas de acción para disminuir el efecto negativo de un manejo del cultivar.

Por tal motivo, se propuso la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo influyen las prácticas culturales realizadas por los agricultores a los servicios ecosistémicos hidrológicos y de estructura del suelo en fincas y arreglos de cultivares de plátano?

En congruencia con lo anterior, se formularon los siguientes objetivos:

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Diferenciar el aporte y transformación de los servicios ecosistémicos de regulación, en cuatro cultivares de plátano, a partir del estudio de los servicios hidrológicos del suelo en áreas del municipio de Armenia.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Determinar algunas variables físicas de suelos en cuatro arreglos de plátano.

Comparar las alteraciones físicas del suelo por arreglos en cultivos de plátano.

Formular líneas de acción para los principales efectos que ocasionan cambios en los servicios ecosistémicos de regulación en cuatro sistemas de cultivar de plátano.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Área de estudio

La zona de estudio se localizó en el centro-occidente de Colombia en el municipio de Armenia, Circasia y Calará departamento del Quindío, que cubre 1930,5 km<sup>2</sup> de territorio; se sitúa en una faja altitudinal entre los 1205 a 1588 m.s.n.m, con precipitación entre 2000 mm a 2200 mm en un clima bimodal, temperatura media anual de 18 a 24 °C y evapotranspiración de 1100 mm a 1200 mm (IGAC, 2015).

Los suelos en la región son profundos, bien drenados, fuertemente ácidos, con fertilidad baja, moderadamente superficiales, limitados por fragmentos de roca. Pertenecen a la Consociación El Roble *AcrudoxicHapludands*, familia medial mezclada, isomésica *TypicHapludands*; la Consociación El Cafetal *TypicHapludands*, la Consociación Membrillal *Acrudoxic Hapludands* y la Consociación Padilla *TypicDystrudepts* (Feijoo et al., 2014).

El uso del suelo en el Quindío está conformado por el 12,8 por ciento del territorio (24 mil hectáreas) ocupado por cafetales a plena exposición solar, con semisombra o sombra. Por su parte, el 6,5 por ciento está ocupado por el plátano (12,5 mil hectáreas), lo que lo convierte en la segunda cobertura de cultivos predominante en el departamento.

La presente investigación se enmarco dentro del proyecto “Servicios ecosistémicos generados por diversos arreglos del cultivo de plátano en el Eje Cafetero Colombiano” (Feijoo et al., 2014). El proceso investigativo analizó la base de datos de la Secretaría de Agricultura Departamental del Quindío (2014), del cual se encontraron 319 registros de agricultores de plátano en las zonas de estudios definidas, luego se generó un proceso aleatorio con los registros de las fincas de los cuales se seleccionaron 50 predios con criterios como el tipo de arreglo, manejo del cultivar, área cultivada, altura sobre el nivel del mar, tipo de suelo, y permanencia del agricultor en la zona.



Adicionalmente se desarrolló un trabajo de campo en la zona rural compuesta por 13 visitas a los 50 agricultores y sus familias; como resultado se seleccionaron 33 fincas, distribuidas espacialmente de la siguiente manera: Armenia (28), Circasia (3) y Calarcá (2), Quindío (Figura 1).

Las 33 fincas se identificaron cuatro arreglos de cultivares de plátano de acuerdo con la clasificación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2005):

(i) Tradicional Arbóreo (TA), plátano tradicional asociado con café tradicional y árboles dispersos, sin distancias ni trazos definidos, ni fertilización y pocas labores agronómicas (10 fincas); (ii) Asociado con Café (AC) Plátano asociado con café, en barreras con distancias definidas y manejo agronómico significativo (8 fincas); (iii) Asociado con Aguacate y otros frutales (AA) Plátano asociado con aguacate y otros frutales, con manejo agronómico permanente, seis años de siembra, sin trazos y resiembras frecuentes (8 fincas); (iv) Monocultivo (MONO) Plátano monocultivo tecnificado, con manejo agronómico, trazo definido y renovación cada 5 a 6 años (7 fincas).

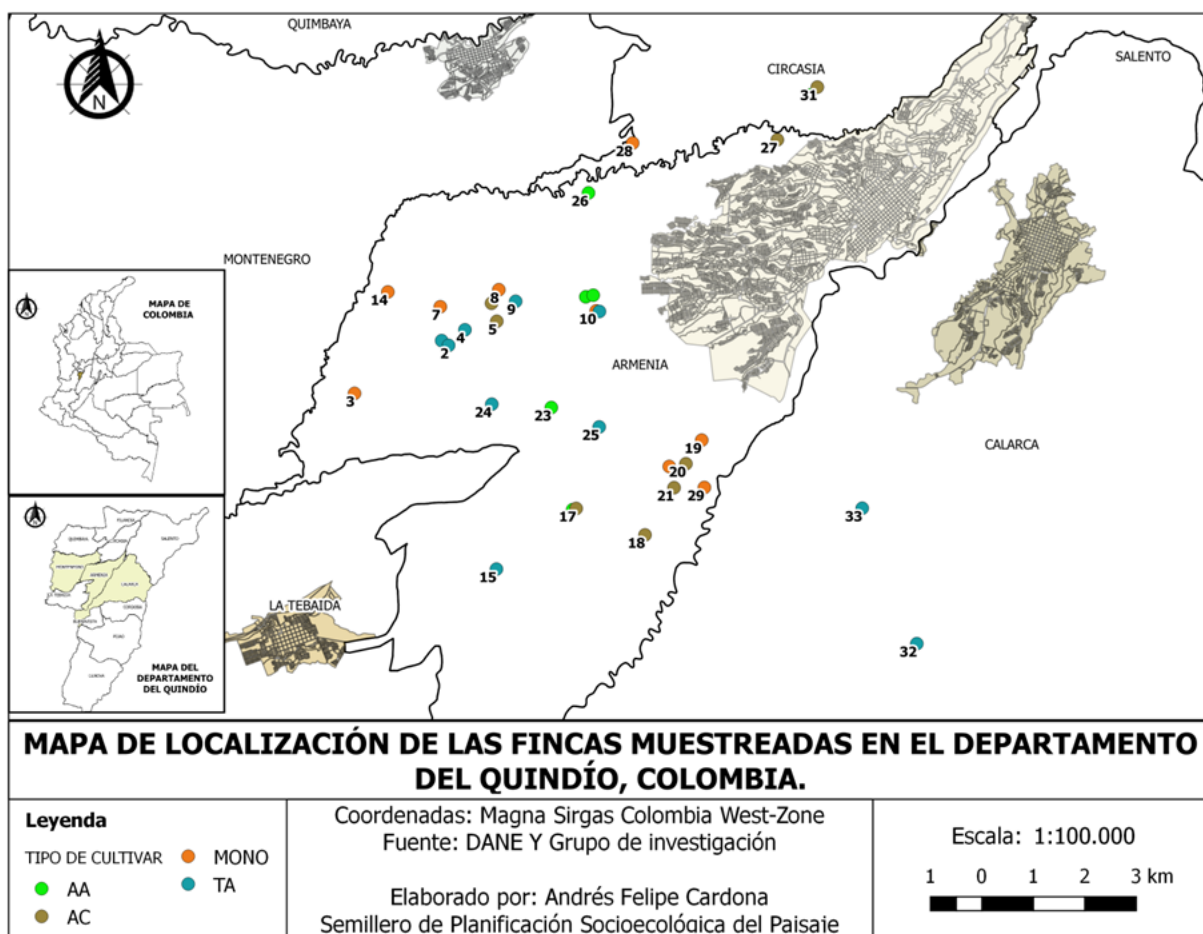


Figura 1. Mapa de localización de las 33 fincas en el departamento del Quindío.

## 2.2 Parámetros físicos de los suelos en cuatro arreglos de plátano

### 2.2.1 Toma de muestras

Las muestras de suelo fueron tomadas en cada uno de los 33 monolitos principales trazados con dimensiones de 30 x 30 x 20 cm, y dos réplicas de 30 x 30 x 10 cm, ubicados cada 5 metros del monolito central en la margen norte y sur, con una profundidad 0-10 para las réplicas y 10-20 cm el principal (Figura 2). El proceso de muestreo se adaptó a una profundidad máxima de 20 cm dado el sistema radicular del plátano.

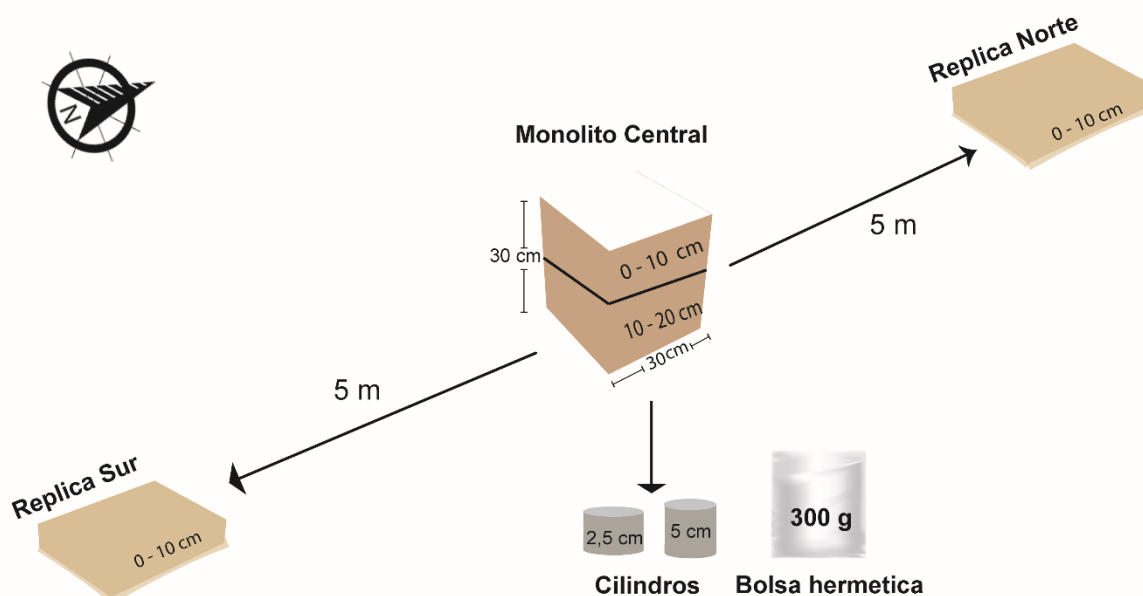


Figura 2. Metodología de muestreo adaptada de Anderson y Ingram, 1993.

Se tomaron muestras no perturbadas de física de suelos en cada uno de los monolitos centrales para las 33 fincas, en las cuales se utilizaron 198 cilindros de 2,5 cm para medir la conductividad hidráulica, y otros 198 con dimensión de 5 cm, para las variables de curvas de retención de humedad, humedad volumétrica y gravimétrica. Adicionalmente, a un costado de cada monolito principal se extrajo 300 g de suelo que fue puesto en una bolsa hermética para evaluar la estabilidad de agregados al agua (método del Yoder) con tamices de diámetro menor de dos mm ( $>2$ , 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, 0.25- 0.125). También las variables relacionadas con el

compactación del suelo y drenaje como densidad aparente (método de los cilindros), densidad real (método del picnómetro), macro, meso y microporos (platos de presión), textura (bouyoucos con Pirofosfato de Sodio). Las propiedades físicas fueron tomadas siguiendo los procedimientos establecidos por el IGAC (2006); por último, las muestras tomadas en campo fueron analizadas por el Dr. Jesús Hernando Galvis del laboratorio del Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, municipio de Buga, Valle del Cauca.

### **2.3 Comparar las interacciones entre las variables físicas y arreglos de plátano**

Parea comprender las relaciones entre variables físicas y los cuatro arreglos de plátano se planteó lo siguiente: El primer paso consistió en revisar las variables por medio de estadística descriptiva y multivariada para identificar entre las 25 variables, cuales son las de mayor importancia para diferenciar procesos de conservación, agradación o degradación del suelo para las 33 fincas.

En segunda instancia, se hizo el primer tratamiento estadístico de ANOVA paramétrico y no paramétrico acompañado de la prueba de Tukey, para identificar la relación entre los parámetros físicos con los cuatro arreglos de plátano, con niveles significativos que fluctuaran entre  $p < 0.05-0.001$ . Lo anterior fue acompañado con un análisis de componentes principales (ACP) para definir si las variables arrojadas en el ANOVA también son significativas entre muestras, esto con el fin de determinar las variables de física de suelo más sensibles para luego ser agrupadas en servicios hidrológicos del suelo (SHS), y servicios ecosistémicos de estructura (SEE) con énfasis en las sinergias positivas y negativas. Los criterios adoptados para la selección de las variables sensibles fueron: la significancia estadística entre arreglos, peso estadístico en la explicación de la variabilidad y correlación con otras muestras (positivas o negativas).

## **2.4 Líneas de acción para los principales efectos que alteran los servicios ecosistémicos del suelo.**

Se analizan los resultados del segundo objetivo y se toman las variables más sensibles que dan cuenta de las funciones hidrológicas y estructurales en cada uno de los arreglos de plátano que presentaron desequilibrios en el suelo. En ese sentido se trabaja el arreglo con mayor alteración para enfocar los resultados hacia la implementación de líneas de acción para fortalecer su manejo.

La línea de acción se elaboró de acuerdo a los siguientes pasos:

Paso 1: Se selecciona el arreglo de plátano que presento mayor anomalías en los servicios prestados por el suelo con respecto a los otros.

Paso 2: Se crea un programa para la propuesta de manejo.

Paso 3: Se establece un proyecto en función del programa

Paso 4: Se crea unas estrategias para mejorar los servicio ecosistémico del suelo en desequilibrio.

Paso 5: Se determina el tiempo de duración de las actividades propuestas (Corto, mediano y largo plazo). Además se describen los posibles responsables o encargados de efectuar las activadas y unos recursos estimados.

Todo lo anterior se presenta en una tabla la cual contiene las líneas de acción

## 2.5 Análisis de datos

Una vez, se obtuvieron los resultados de los análisis físicos realizados en laboratorio, se sistematizó en bases de datos con Microsoft Excel®, las 24 variables de física de suelos evaluadas en el sistema de cultivo del plátano, y agrupadas en cuatro arreglos con seis (6) puntos de muestreo en cada finca y tamaños muestrales asociados con el tipo de arreglo, distribuidos de la siguiente manera:

TA (n= 60) - AA (n= 48) - AC (n= 48) -MONO (n = 42).

Luego se establecieron unos criterios para determinar las variables más representativas, tales como, que no presentaran la desviación estándar muy alta y, la no presencia de valores atípicos que dificulten la interpretación de los resultados.

En los análisis se consideraron como diferencias significativas entre arreglos de cultivo, a todas aquellas en las que los resultados para el análisis de varianza, y el análisis de componentes principales arrojaran las probabilidades entre  $p < 0.05$ - 0.001. Además, se realizó un análisis descriptivo agrupado por arreglos y variables para identificar posibles anomalías en los datos; se obtuvieron los parámetros básicos como media, desviación estándar, error estándar y el coeficiente de variación (CV). El test de normalidad para las 24 variables, se realizó con Kolmogorov-Smirnov (con la corrección Lilliefors). Posteriormente, se hizo la prueba de Análisis de Varianza “ANOVA de un factor” con contraste post hoc Tukey ( $P < 0,05$ ) para las variables (Da, Pt, macroporos, microporos, humedad volumétrica a capacidad de campo, 1 bar, y punto de marchitez permanente, agregados estables del agua ( $> 2\text{mm}$ , 2-1, 1-05, mm, 0,5-0,25mm) con distribución normal en los cuatro arreglos.

Adicionalmente, a las variables con distribución no paramétrica (Densidad real, humedad de campo, conductividad hidráulica, mesoporos, humedad volumétrica (0cm), humedad

gravimétrica (0cm, capacidad de campo, 1 bar, punto de marchitez permanente), agregados estables del agua (0.25-0.125mm). se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (Balmón, 2008). Luego, se utilizó el análisis multivariado para identificar las posibles interacciones entre las propiedades evaluadas por medio del análisis de componentes principales con la rotación de Varimax para mejorar la interpretación de los componentes, guiado por los autores Pla (1986) y Zamorano (2011). Los tratamientos estadísticos fueron desarrollados con los paquetes estadísticos de R versión 3.4.2 y IBM SPSS 24.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Diferenciación de la fluctuación de las variables físicas en fincas de Armenia**

En el análisis de los registros relacionados con las variables para las 33 fincas, se encontró que, de las 24 variables, 14 parámetros presentaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.001$ ). Por lo anterior, el trabajo se centró en aquellas que tuvieran la suficiente sensibilidad para separar la intensidad del manejo en los arreglos de cultivar plátano.

#### **3.2 Fluctuaciones de las variables físicas en cuatro arreglos de plátano.**

##### **3.2.1 Identificación de las variables físicas sensibles**

En concordancia con el análisis estadístico de la varianza de un factor paramétrico y no paramétrico entre los parámetros físicos arrojó solo 6 variables claves de 21 en total que presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los arreglos como fue la porosidad total, macroporos, humedad volumétrica a 0 cm, densidad aparente, y agregados estables del agua ( $> 2\text{mm}$ , y  $0.5\text{-}0.25\text{ mm}$ ).

Al mismo tiempo, el análisis de componentes principales presentó dos factores representados en el 58.6% de la variabilidad total de la información entre muestras. El componente 1 (CP1)

explicó el 35.18%, y se relacionado con las variables de porosidad total, densidad aparente y macroporos; parámetros de mayor peso, seguido de microporos, densidad real, humedad volumétrica a punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), 1 bar y 0 cm.

En tanto, la porosidad total y los macroporos mostraron relación inversa con la densidad aparente (Figura 3), es decir a medida que la porosidad total descende, son mayores los valores de densidad aparente.

El segundo Componente (CP2) explica el 23.4 % (Tabla 1); caracterizado por la humedad volumétrica 0 cm, humedad de campo, humedad gravimétrica 1 bar, Punto de marchitez permanente (PMP), y capacidad de campo. El componente 3 (CP3) es el resultado más bajo de los anteriores con un 9.3 %, y conformado por las variables de agregados estables del agua 0.5-0.25 mm, 2-1mm y 0.25-0.125 mm

En ese sentido, se seleccionaron cuatro variables sensibles por presentar mayor significancia entre muestras como la densidad aparente con el segundo valor más alto en la matriz de correlación rotada en el CP1 (0.93 ) (Figura 3), en segundo lugar, la porosidad total con una correlación negativa de -0.916, el tercero macroporos al igual que el anterior presenta sinergia negativa con -0.95 y el cuarto explicó los agregados estables de agua entre 0.5-0.25 mm (0.747) con sinergia positiva con densidad aparente y negativa con macro, y porosidad total ( Figura 3).



Tabla 1-Principales correlaciones entre los variables de cuatro tipos de arreglo de plátano y los factores extraídos por el análisis de componentes principales.

Variables	Componente o factores		
	1	2	3
Macroporos	-,952	-,130	-,013
Densidad aparente	,933	-,251	-,002
Porosidad total	-,916	,246	-,011
Microporos	,846	,514	-,001
HV_PMP	,846	,514	-,001
HV_CC	,844	,459	,013
HV_1bar	,837	,487	,019
HG_0cm	-,788	,504	-,010
Densidad real	,647	-,172	-,099
HG_PMP	,085	,975	,001
HG_1_bar	-,008	,964	,032
HG_CC	-,082	,959	,021
Humedad de campo	,011	,927	,017
HV_0cms	,243	,444	-,062
AEA_2-1mm	,071	-,070	-,765
AEA_0,5-0,25mm	,114	,027	,758
AEA_0,25-0,125mm	-,065	-,056	,747
AEA_>,2m	-,087	,019	-,263
AEA_1-0,5mm	,039	,124	-,119
Conductividad hidraulica saturada	-,212	,123	-,017
Mesoporos	,132	-,094	,043

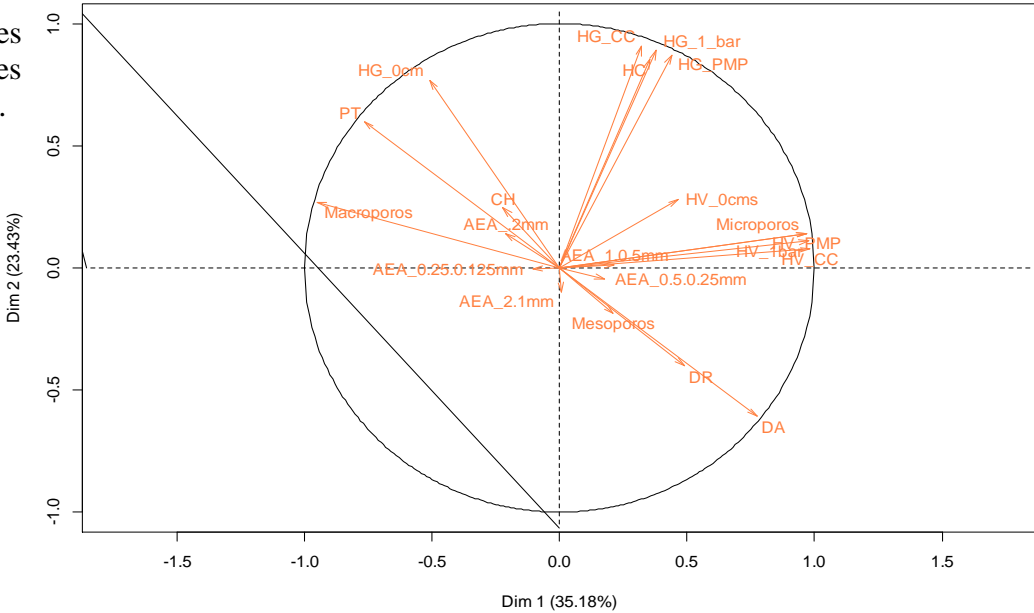


Figura 4. ACP para las variables físicas del suelo en fincas del municipio de Armenia

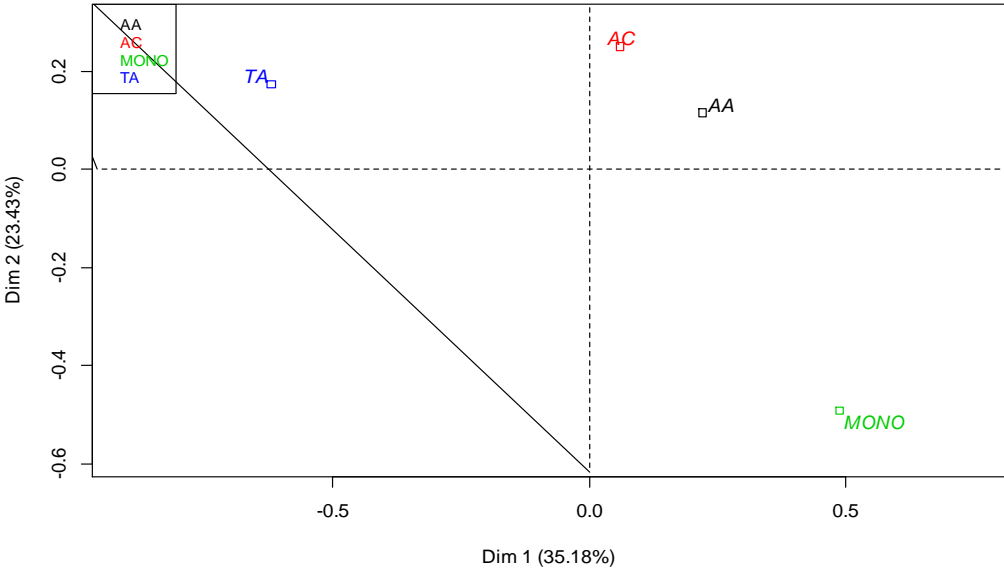


Figura 3-Localización de los sitios (arreglos) en función de los dos primeros factores arrojados por el análisis de componentes principales para las 24 variables, el cual incluye el peso de los Factores 1 (35.2%) y 2 (23%), localización de los 4 arreglos, de acuerdo con la correlación y posición y relación con los factores.

Los resultados anteriores producto de los tratamientos estadísticos permitieron identificar (4) variables claves o sensibles, las cuales fueron agrupadas dentro de la categoría de servicios ecosistémicos de estructura del suelo (S.E.E) (densidad aparente, agregados estables del agua y 0.5-0.25 mm) y de servicios hidrológicos del suelo (S.H.S) (porosidad total y macroporos). Por otro lado, no se incluyó la humedad volumétrica 0cm y agregados a estables del Agua > 2 mm por no cumplir con el segundo criterio estadístico. A continuación se describen los parámetros agrupados por los SE:

### Servicios ecosistémicos de estructura del suelo (S.E.E)

#### Densidad aparente

La densidad aparente arrojó diferencias significativas entre muestras y los arreglos tradicional arbóreo y monocultivo ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.05$ ) (Tabla 2). El arreglo tradicional arbóreo (TA) presentó el valor más bajo ( $0.72 \text{ g cm}^{-3}$ ) con respecto AA, AC ( $0.77$ ,  $0.75 \text{ g cm}^{-3}$ ) respectivamente, mientras que en el monocultivo fue superior ( $0.82 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Figura 5).

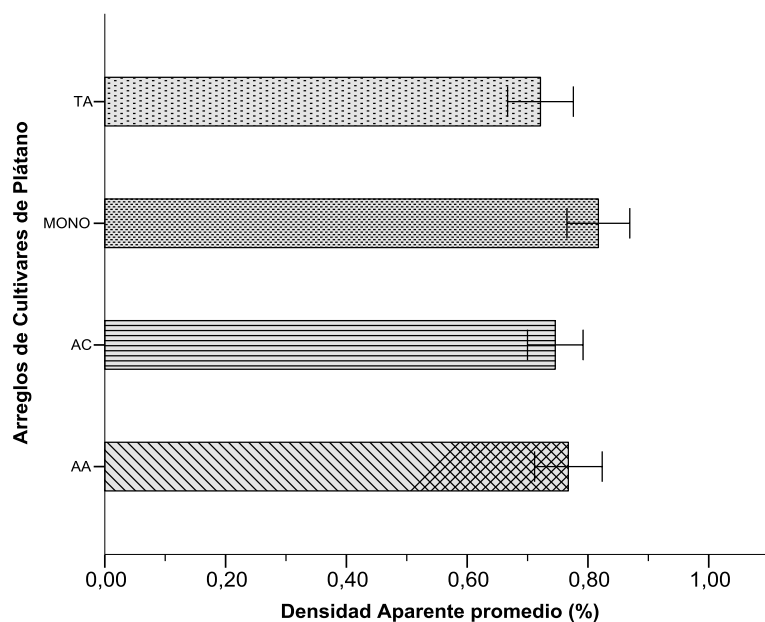


Figura 5. Valores de densidad aparente en cuatro arreglos de plátano

### Agregados estables del agua a 0.5-0.25 mm (AEA)

La diferencia de valores promedios entre agroecosistemas (Figura 6) no fue muy amplia, sin embargo la comparación de los microagregados (0.5-0.25mm) presento diferencias significativas ( $P < 0.001$   $P < 0.05$ ) entre muestras y los arreglos TA y MONO (Tabla 2). Donde el arreglo monocultivo presento el resultado promedio más elevado (14.8%), a diferencia de AC (14.2%), TA (12.3%), y AA (11.3%). con el dato más bajo.

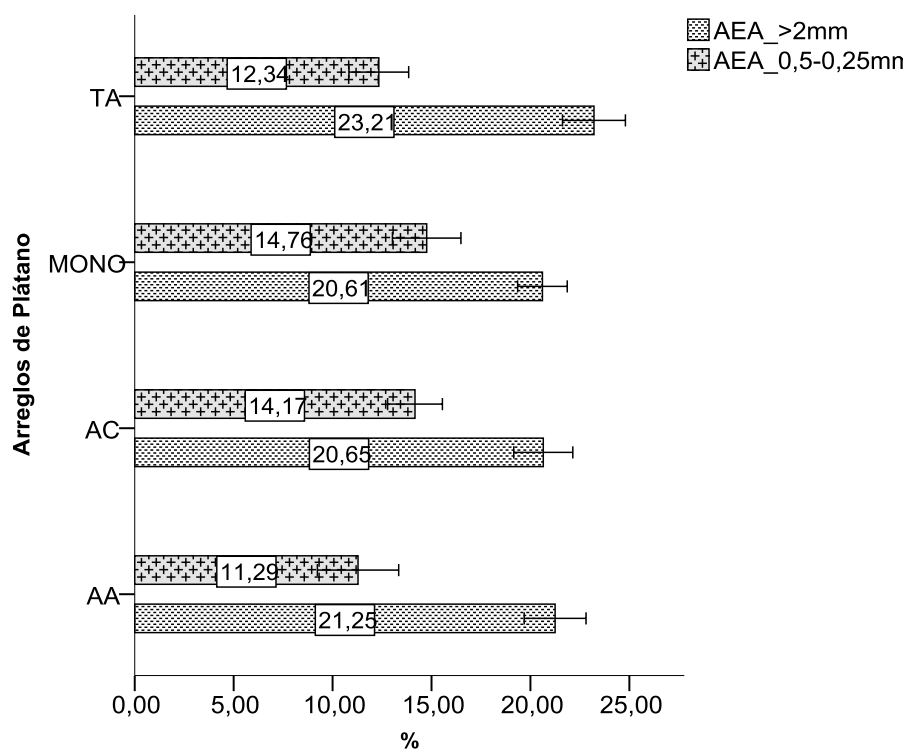


Figura 6. Agregados estables del agua > 2mm y 0.5-0.25 mm.

### Servicios hidrológicos del suelo (S.H.S)

#### Porosidad total

Se observó que la porosidad total (PT) mostró diferencias estadísticas significativas entre muestras y arreglos para TA y MONO ( $P < 0.001$   $P < 0.05$ ). El valor promedio más elevado lo presento el arreglo tradicional arbóreo (69.1%), mientras que el asociado con aguacates (67.4%),

asociado con café (68.1%) mantuvieron un valor cercano; asimismo, en el monocultivo los poros disminuyen a 65.43% (Figura 7)

En ese sentido, desde el punto de vista de la productividad del suelo, el aumento del valor de PT en TA representa una condición positiva para aireación y transporte de agua en el suelo. A diferencia del Monocultivo, donde presenta una disminución con respecto a los otros arreglos y esto se ve reflejado en el espacio poroso, lo cual aumenta la tendencia a la compactación.

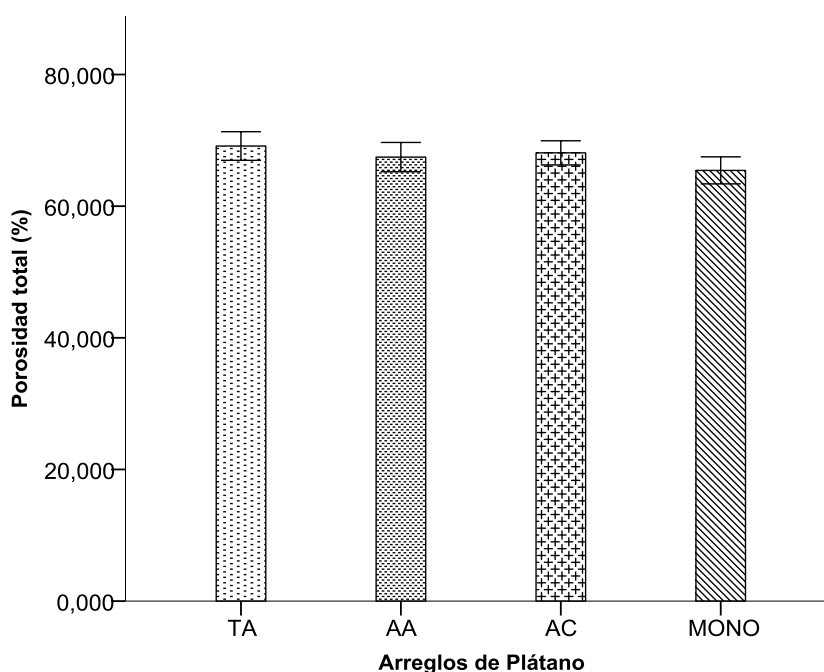


Figura 7. Resultado de la porosidad total.

### Macroporos

El tratamiento estadístico arrojó significancia ( $p < 0.05$ ) para los arreglos tradicional arbóreo asociado con aguacate y monocultivo (Tabla 2). El valor más alto se encontró en TA (39.7%), mientras que en AC y AA no hubo diferencias y sus valores oscilaron entre 36.65-36.30 %; en el MONO, los macroporos fueron inferiores a los otros arreglos (33.67%) (Figura 8).

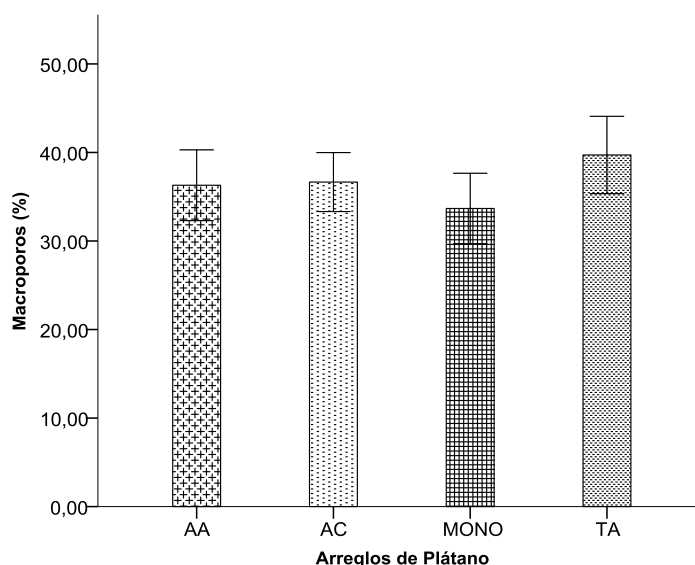


Figura 8. Resultado de los macroporos por cultivar.

Tabla 2. Variables físicas de suelos con diferencias significativas entre arreglos de plátano agrupado por servicios ecosistémicos de estructura e hidrológico.

Arreglo	DA (g/cm <sup>3</sup> )	PT (%)	Macroporos (%)	AEA 0.5 -0.25 mm
<b>TA</b>	0.72 ± 0.21a	69.14 ± 8.40 a	39.72 ± 16.44b	12.34 ± 5.84a
<b>AA</b>	0.76 ± 0.16 ab	67.45 ± 6.67 ab	36.3 ± 12.88b	11.29 ± 6.17 ab
<b>AC</b>	0.74 ± 0.16 ab	68.09 ± 6.36ab	36.7 ± 12.39ab	14.17 ± 4.80 ab
<b>MONO</b>	0.81 ± 0.19b	65.43 ± 7.55 b	33.7 ± 13.35a	14.76 ± 6.36b

DA: densidad aparente  $p=0.0496$ ; PT: Porosidad total  $p=0.05$ ; Macroporos  $p=0.0213$ ;  
Agregados a Estables al Agua 0.5- 0.25 mm  $p=0.017$

\*Letras semejantes indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre arreglos de cultivo.

En los registros se encontró que las variables más sensibles dentro de las categorías de servicios ecosistémicos de regulación, fueron determinantes para establecer tres funciones muy puntuales que presentan los suelos dentro de los SE de estructura como resistencia a la compactación (RC) y la erosión (RE); por otro lado los SE de hidrología también proveen funciones asociadas a la

capacidad de los suelos para el drenaje e infiltración De manera que, se establece el servicio capacidad de drenaje (CD). (Tabla 3) presenta la manera de agrupar las funciones con respecto a los SE.

Tabla 3. Parámetros y servicios ecosistémicos agrupados

<b>Categoría</b>	<b>Servicios ecosistémicos del suelo</b>	<b>Funciones prestado por el suelo</b>	<b>Código</b>	<b>Parámetro físico</b>	<b>Unidad</b>
<b>Regulación</b>	Estructurales	Resistencia a la compactación	RC	Densidad aparente	g/cc
		Resistencia a la erosión	RE	Agregados estables del agua	%
	Hidrológicos	Capacidad de drenaje	CD	Porosidad total – Macroporos	%

En continuidad con lo anterior, la interacción entre los servicios prestados por el suelo en cuatro arreglos se conforma por la resistencia a la erosión que se obtuvo a partir del resultado obtenido por los tamaños de agregados estables del agua a 0.5-0.25 mm, donde se encontró que el valor más bajo lo presento el monocultivo, con respecto a la resistencia a la compactación del suelo se da por efecto natural y antrópico producto del manejo de los agroecosistemas, situado en la planificación efectuada por los agricultores, lo cual incide en la variación de la densidad aparente. Los resultados arrojados con relación a este servicio, precisa al monocultivo por presentar mayor densidad aparente promedio.

Por otra parte, la capacidad de drenaje se entiende como la combinación entre la relación aire-agua y suelo y condiciones climáticas; importantes para favorecer el sistema radicular de la planta. Para la determinación del servicio de capacidad de drenaje se utilizaron las variables claves macroporos y porosidad total. En los resultados, se evidencio una tendencia a la disminución de la capacidad del drenaje en el arreglo de monocultivo.

#### 4. DISCUSIÓN

El análisis de una serie de 24 variables de físicas de suelos tomadas en cuatro arreglos de plátano en el municipio de Armenia, preciso de la utilización del análisis de la varianza como un primer filtro de datos por la cantidad de muestras obtenidas, y era necesario llegar a conocer las variables representativas entre arreglos. El segundo filtro estuvo acompañado de un análisis multivariado (Análisis de componentes principales) que permitió separar ecosistemas con características diferentes y facilito la comparación de suelos con cuatro arreglos diferentes.

En el caso de las variables densidad aparente, porosidad total y macroporos (variables sensibles) tuvieron mayor representatividad en los factores 1 y 2 entre los datos y mejores valores promedios en los arreglos tradicional arbóreo, plátano asociado con aguacate y con café, con tendencias claras al mantenimiento de los SE por la presencia de árboles que posibilitan el sombrío, como el caso del guamo. También se pudo observar que los agregados estables del agua 0.5-0.25 mm presentaron el mayor dato en el factor 3, y mejor resultado en el arreglo tradicional arbóreo, una tendencia asociada con el manejo.

Autores como Ghaemi et al., 2014 describen el ACP como una herramienta de gran valor para poder seleccionar aquellas propiedades (físicas o químicas) que identifican el estado del suelo, Asimismo, Velázquez (2014) describe la técnica multivariada como una ayuda a entender de manera integral el comportamiento de las diferentes propiedades físicas del suelo, así como a identificar y comprender las relaciones entre estas.

Lo anterior demuestra, la posibilidad mediante la aplicación del proceso estadístico propuesto en el presente trabajo, relacionar y comprender ecosistemas con características contrastantes y generar algunas aproximaciones que contribuyan a fortalecer la planificación de los agroecosistemas, de acuerdo con las propiedades del suelo, como variables sensibles que indican

la sinergia negativa o positiva para la conservación de los SE.

Con respecto a los servicios hidrológicos (SH) y servicios ecosistémicos de estructura (S.E.E) se encontró que el servicio de resistencia a la compactación dentro de los S.E.E presento la mayor capacidad en el arreglo de tradicional arbóreo por arrojar el valor más bajo promedio de la densidad aparente; y está muy relacionado con el desarrollo de una estructura porosa. La porosidad total del suelo es relativamente elevada lo cual mejora la aireación del suelo. Caso contrario sucede con el monocultivo al ser un sistema a exposición directa al sol y su ligero incremento en la densidad aparente posiblemente se deba al poco aporte de material orgánico al suelo (hojarasca), uso de productos químicos que promueven la ruptura en la estructura del suelo, su porosidad, y disminuyen la aireación, aumentando la densidad aparente, estas circunstancias afectan la infiltración y almacenamiento de agua. Igualmente Klein y Libardi (2002), aseguran que el principal efecto de la compactación causada por algunas labores de uso y manejo del suelo sobre la DA se ve reflejado en la porosidad, ya que al aumentar la DA disminuyen los macroporos y aumentan los microporos, causando problemas en el sistema radical de las plantas.

Por otro lado, en cuanto a la capacidad de resistencia a la erosión dentro del patrón de servicio ecosistémicos de estructura producto de los porcentajes de AEA 0.5-0.25 mm se evidencio una mayor capacidad de los arreglos tradicional arbóreo y asociados con aguacate; caso contrario sucedió con el monocultivo dada su relación con las fuerzas inducidas artificialmente por el manejo tecnificado sobre la estructura del suelo, que determino una baja agregación de las partículas del suelo cuando son afectadas por fenómenos externos como el agua. Esta característica presente en el arreglo también se modificada por las labores de los agroecosistemas lo cual afecta el sistema radicular de la planta. Además, se encontró que la



disminución de los microagregados aumenta los macroagregados estables del agua como un proceso de correlación negativa.

Es decir, a medida que aumenta el tamaño de las partículas del suelo se reduce la agregación y la estabilidad de los mismos, lo cual facilita a las partículas de menor tamaño y agentes agregantes sean arrastrados con mayor facilidad por el agua, con lo que se aumentan los riesgos de compactación y disminuye la fertilidad de los suelos.

Por otro parte, Amézquita et al, (2010) dejan claro que estas condiciones juegan un papel importante, ya que un aumento en la resistencia mecánica del suelo, puede restringir la absorción de agua y nutrientes por las raíces y así el crecimiento de las plantas, además, afectan negativamente la conductividad del agua y crean una mayor susceptibilidad a la erosión, donde además presenta valores más bajos de distribución de agregados.

En cuanto a la capacidad de drenaje relacionado con los SE hidrológicos es sumamente importante entender la conjugación de las dos variables sensibles porosidad total y macroporos, dado que no necesariamente la porosidad total indica la dinámica del agua en el suelo, Reynolds *et al.* (2009) la trascendencia de las variables porosidad total y macroporos, son importantes en función del volumen de poros, y los vínculos entre la calidad física del suelo, capacidad de cultivo y las dinámicas de agua y soluto en el suelo.

En ese sentido, se evidencio que la porosidad más alta se presentó en el arreglo TA, y puede estar sujeto a que generalmente en los primeros centímetros del suelo se acumula gran parte de los residuos orgánicos. (Ravina y Magier, 1984) como son: podas, residuos de cosecha y hojarasca los que ayudan a incrementar los porcentajes de aireación en el suelo, de esta manera se favorece la capacidad de drenaje. A su vez, se relaciona con los efectos positivos del tipo de manejo, por ejemplo la baja aplicación de elementos químicos, para la fertilización y control de plagas.,

además de presentar cobertura arbórea lo cual influye en la estructura del suelo y permite la aireación y tránsito del agua en el suelo para soportar adecuadamente el ecosistema,

Con respecto a los macroporos, nuevamente el TA presento la mejor condición, lo cual reafirma su capacidad de drenaje en el suelo, lo cual se evidencio durante la investigación y en la representatividad del análisis de componentes principales una estrecha relación sinérgica positiva con la porosidad total y negativa con la densidad aparente, de lo cual se concluye que para el estado del suelo de los agroecosistemas como el TA al tener en buenas condiciones las otras dos variables se infiere que los macroporos lo van a estar y eso se ha respaldado con los resultados provistos por la investigación. Acto seguido, el presentar sinergias con otras variables y ser el TA el mejor arreglo permite el suministro de oxígeno a las raíces, el intercambio gaseoso con el medio ambiente y favorece, en ciertas condiciones, la formación de un extenso sistema radical que facilita como Valenzuela y Torrente (2010).coinciden en que la mayor parte de la actividad biológica del suelo y el desarrollo y crecimiento de las plantas se inhiben drásticamente cuando se presentan bajos niveles de macroporosidad.

Así mismo, los sistemas asociados con aguacate y café presentaron valores muy similares en los macroporos y porosidad total, es decir en los resultados se observó un patrón muy regular en las variables, porosidad total, macroporos, esto posiblemente se deba al tipo de manejo, muy similar en los dos arreglos

Sin embargo, el monocultivo exhibió una disminución de la porosidad total y macroporos lo cual afecta la velocidad de infiltración, lo que puede llevar al predominio de la escorrentía (Hernández *et al.*, 2009) donde se presentan problemas en el servicio de capacidad de drenaje, ya que los poros al estar sellados por la compactación no pueden dejar transitar el agua y se interrumpe el proceso de almacenamiento, lo cual se puede reflejar en un estrés hídrico para el

plátano.

En general, se encontró que los tipos de arreglos de cultivo de plátano producen alteraciones en las propiedades físicas de los suelos independientemente del tipo de manejo, la observación está en que manejos intensivos como el monocultivo aceleran la disminución de los servicios ecosistémicos de estructura e hidrológicos

Posteriores investigaciones pueden contribuir a identificar y documentar más las multifuncionalidad de los agroecosistemas en la prestación de servicios ecosistémicos a nivel local, regional y nacional; como una medida para establecer programas de agricultura más sostenible, y también indagar en el pago por servicios ambientales desde agroecosistémica; para la conservación y mejoramiento de los suelos colombianos.

No obstante, sería importante conjugar los resultados de la investigación y propuesta para generar herramientas de planificación amigables para los agricultores que permitan tomar decisiones que impliquen un mejoramiento de los SE y un menor costo de los análisis de la información y la retroalimentación con los saberes tradicionales.

Finalmente, los hallazgos en las alteraciones de los SE llevan a formular líneas de acción para fortalecer el arreglo monocultivo por presentar condiciones alterantes en las funciones estructurales e hidrológicas.

#### **4.2 Línea de acción para el fortalecimiento de los servicios ecosistémicos del suelo en los agroecosistemas.**

Las líneas de acción fueron formuladas a partir de los resultados estadísticos donde se reconocieron los arreglos de plátano que presentaron mayor alteración como el monocultivo (Mono) en los servicios estructurales e hidrológicos. Por lo tanto, los lineamientos están orientados a fortalecer la planificación de dicho agroecosistema de plátano por parte del tomador de decisiones (agricultor) quien en últimas es quien decide el tipo y manejo que se debe llevar a cabo para mejorar y conservar los SE del suelo.

En ese sentido, las líneas de acción están basadas en un proyecto enfocado en el fortalecimiento de las prácticas de manejo de los agroecosistemas del monocultivo, para mejorar la conexión de los SE desde la planificación donde no solo se considera el valor económico por la productividad sino que se evidencie la conservación directa e indirecta de los SE y las funciones de resistencia a la compactación, erosión y capacidad de drenaje. Por consiguiente, los elementos trabajados en los procesos anteriores, están documentados en la siguiente (Tabla 4).

En concordancia con lo ya mencionado, se articulan al accionar de la propuesta una serie de actividades para transformar y retroalimentar las prácticas en el manejo del cultivo, dado que las fincas con arreglo de monocultivo presentaron menor presencia de los servicios ecosistémicos evaluados, algunas prácticas que pueden mejorar los SE de regulación y estructurales son: aumento de la cobertura como protección del suelo para evitar la erosión del suelo producto de la lluvia o pérdida de nutrientes por la escorrentía, a su vez genera hojarasca que contribuye al aporte de materia orgánica al suelo; fomenta la actividad biológica y disminuye el requerimiento de agroquímicos, reflejado en los costos de producción.

La asociatividad de cultivos, propuesta para fomentar los productos de pan coger dentro de la

finca que sirvan para el consumo interno de la familia. Todo lo anterior debe estar acompañado de buenas prácticas agrícolas en los cultivos, de suma importancia el manejo y control de plagas y enfermedades; a su vez fomentar la actividad biológica para mejorar la porosidad del suelo.

Por otro lado, los saberes tradicionales enfocados hacia el trabajo en equipo o asociatividad entre los agricultores encaminado a compartir experiencias en el manejo y control de plagas, la generación y aplicación de abonos orgánicos, tipos de sistemas de cultivar, distancias de siembra, manejo del cultivo, capacidad de resistencia de ciertos agroecosistemas frente a la variabilidad climática, entre otras opciones. Todo lo anterior, busca mantener los saberes heredados en el manejo del plátano para contribuir a sostener los SE.

En definitiva una planificación de los agroecosistemas acorde con las características del suelo, va permitir una implementación de prácticas y estilos de agricultura que mejoran la capacidad de drenaje de los suelos, resistencia a la erosión, fertilidad en los suelos, actividad biológica; todo esto relacionado con la conservación de los servicios ecosistémicos de regulación. No obstante, para desarrollar las actividades propuestas se debe tener claro que se tiene que contar con voluntad de los actores involucrados principalmente los agricultores.

Esto es sumamente importante a la hora de relacionar las prácticas que realizan los agricultores con la conservación de los recursos naturales, ya que entender las formas de integración de los saberes tradicionales para repensar la planificación de los agroecosistema, de esta manera, el manejo del predio podrá ser resuelto de diferente forma según los criterios, saberes y conocimientos de quienes toman las decisiones.

Tabla 4 Línea de acción para fortalecer los SE en el arreglo de monocultivo.

TIPO DE ARREGLO	PROGRAMA	PROYECTO	ESTRATEGIAS	ACTIVIDADES	DURACIÓN	ACTORES INVOLUCRADOS	RECURSOS ESTIMADOS
<b>Monocultivo</b>	Gestión del suelo para la conservación de los servicios eco sistémico de estructura e hidrológicos	Fortalecimiento de las prácticas de manejo de los agroecosistemas de plátano	Aumento de la cobertura	Siembra aleatoria de especies de sombra para el cultivo, como frutales, guamos, nogales, cedros u otra especie	Mediano-Largo plazo	Administradores de la finca, agricultores, Federación Nacional de Cafeteros, musáceas del Quindío, Alcaldía, y entidades privadas.	Contratación de personal, y plántulas.
			Disposición de materia orgánica	Utilización con frecuencia de enmiendas orgánicas(Bokashi, materia orgánica u otro)	Corto plazo	Administradores de la finca, agricultores	Material (Abonos)
			Cultivos asociados	Siembra de cultivos de pan coger dentro del cultivo o fuera para utilizar sus residuos como abono	Mediano plazo	Administradores de la finca, agricultores, Federación Nacional de Cafeteros, musáceas del Quindío.	Material (Plántulas y semillas) y contratación de personal
			Buenas práctica agrícolas	Intercalar el control de las plagas y enfermedades con técnicas manuales para disminuir el uso de químicos.	Mediano-Largo plazo	Administradores de la finca, agricultores, Federación Nacional de Cafeteros, musáceas del Quindío, academia( Universidades, SENA), instituciones de asistencia técnica, y Alcaldía	Contratación de personal

---

	Uso de los residuos vegetales luego de las podas o limpieza de hierbas en el cultivo, como abono orgánico	Corto plazo	Administradores de la finca, agricultores, Federación Nacional de Cafeteros, musáceas del Quindío, academia( Universidades, SENA), instituciones de asistencia técnica, y Alcaldía	Contratación de personal
Saberes tradicionales como eje transversal a la planificación	Aplicación y difusión de saberes tradicionales para el manejo de sistemas de cultivo de plátano	Corto plazo	Administradores de la finca, agricultores, Federación Nacional de Cafeteros, musáceas del Quindío, academia( Universidades y SENA), instituciones de asistencia técnica, y Alcaldía	Contratación de un sitio para el desarrollo de los diálogos y retroalimentación de los saberes

---

## CONCLUSIONES

El proceso metodológico propuesto en el presente trabajo permitió analizar un gran conjunto de variables y procesarlas a través de estadística multivariada, lo cual permitió categorizar las sensibilidad de los parámetros en SE y documentar las alteraciones que suceden en el suelo cuando se presentan desequilibrios entre las variables, y su incidencia en el estado de los servicios estructurales e hidrológicos. Por lo tanto, el trabajo brinda un valioso aporte para las nuevas investigaciones a una escala local, regional y nacional.

Asimismo, se logra evidenciar que los arreglos de plátano en el municipio de Armenia alteran sustancialmente las propiedades físicas de los suelos que acompañan los servicios ecosistémicos.

El arreglo tradicional arbóreo se caracterizó por presentar la mejor condición de resultados en las variables densidad aparente, porosidad total, macroporos y estabilidad de agregados; a su vez, referencio la mejor interacción de los SE hidrológicos y estructurales.

Por otro lado, el monocultivo evidencio los valores más bajo entre los 4 arreglos lo cual promueve la disminución de los SE.

Las líneas de acción buscan contribuir de manera significativa a mejorar y mantener las .conexiones entre los parámetros del suelo, en función de disminuir los procesos alterantes como la degradación del suelo.

De acuerdo los resultados de este estudio, las variables sensibles que marcaron diferencias sobre los cambios en el suelo entre los arreglos evaluados fueron la densidad aparente, macroporos y porosidad total, por su estrecha relación con el comportamiento de otras propiedades físicas donde se puede ver afectado con una variación en su contenido, de ahí su importancia.

El uso del análisis de componentes principales permitió conocer las interacciones entre las



propiedades físicas, lo cual ayuda a mejorar la toma de decisiones para seleccionar la variable más sensible de todas las muestreadas y evidenciar la alteración entre SE.

Además, el estudio de los servicios ecosistémicos de regulación desde la mirada de los agroecosistemas amplía la perspectiva sobre los SE por presentar multifuncionalidad en los ecosistemas que allí convergen a una escala local y regional. Lo anterior enriquece el conocimiento por brindar nuevos espacios investigativos.

Por último, el proyecto investigativo desde su concesión metodológica no tomo apartes del conocimiento de otras disciplinas o saberes, por tanto se sugiere en futuros procesos investigativos estar acompañados de las experiencias de los agricultores por su visión de territorio y las prácticas que llevan a cabo en los agroecosistemas.

## **RECOMENDACIONES**

Llevar a cabo estudios de sistemas resilientes desde los agroecosistemas para hacer frente a la variabilidad climática a partir de la relación entre la física de suelo y variables climáticas

Proponer una línea de investigación enfocada en el estudio y factibilidad del pago por servicios ambientales desde los agroecosistemas

Un estudio en más detalle acerca del efecto de un tipo de arreglo de plátano asociado con café y otro con aguacate para conocer diferencias significativas en las variables de física de suelos.

Llevar a cabo una base de datos de física de suelos acompañada de un sistema de información geográfico por cada tipo de arreglo de plátano y finca evaluada, además de que sea retroalimentada por las entidades que convergen en el tema de agricultura. Lo anterior va a permitir mejorar la planificación rural desde el seguimiento a la calidad del suelo y su productividad

## REFERENCIAS

- Amézquita, E, Escobar, G. (1996). *Condiciones naturales de la sabana*. Recuperado de [http://www.bdigital.unal.edu.co/6627/1/AGROECOLOG%C3%8DA\\_Y\\_BIODIVERSIDAD\\_DE\\_LAS\\_SABANAS\\_EN\\_LOS\\_LLANOS\\_ORIENTALES\\_DE\\_COLOMBIA.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6627/1/AGROECOLOG%C3%8DA_Y_BIODIVERSIDAD_DE_LAS_SABANAS_EN_LOS_LLANOS_ORIENTALES_DE_COLOMBIA.pdf)
- Amézquita, E, Mesa, O. y Chaves, B. (2010) Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 61 (4): 344-357
- Balmón, A. (2008). *Guía práctica de análisis de datos*, Instituto de investigación y formación agraria y pesquera (IFAPA).
- Baronio, A y Vianco A. (2014). *Análisis Exploratorio: ACP interpretación de resultados*. Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Villa María
- Caixeta, D, Romeiro, A. (2009). *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano*. Recuperado de <http://www.eco.unicamp.br/docdownload/publicacoes/textosdiscussao/texto155.pdf>
- Cruz, A., Barra, J., Catillo, R. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista científica t técnica de ecología y medio ambiente*. 13: 02
- Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CODESAN). (2010). *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Rolando\\_Celleri/publication/270892614\\_Estado\\_del\\_conocimiento\\_tecnico\\_cientifico\\_sobre\\_los\\_servicios\\_ambientales\\_hidrologicos\\_generados\\_en\\_los\\_Andes/links/54b8214f0cf28faced620447/Estado-del-conocimiento-tecnico-cientifico-sobre-los-servicios-ambientales-hidrologicos-generados-en-los-Andes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rolando_Celleri/publication/270892614_Estado_del_conocimiento_tecnico_cientifico_sobre_los_servicios_ambientales_hidrologicos_generados_en_los_Andes/links/54b8214f0cf28faced620447/Estado-del-conocimiento-tecnico-cientifico-sobre-los-servicios-ambientales-hidrologicos-generados-en-los-Andes.pdf)
- Díaz, S, Fargione, F, Stuart Chapin Joseph III, Tilman, D. (2006). *Biodiversity Loss Threatens*

*Human Well-Being.* Recuperado de

<http://web.mit.edu/12.000/www/m2015/pdfgroup1.pdf>.

- Feijoo, M. A. Castaño, J.M., Rivas, G.A., Lavelle, P., Zúñiga, M.C., Quintero, V. H., Murillo, B.E. y Molina, L.J. (2014). *Servicios ecosistémicos generados por diversos arreglos de cultivo de plátano en el Eje Cafetero Colombiano*. Proyecto de Investigación financiado por COLCIENCIAS. Grupo de investigación en Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira
- Francis, A, Rótolo, G (2008). *Los servicios ecosistémicos en el "corazón" agrícola de Argentina*. Recuperado de <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-los-servicios-ecosistemicos-en-el-corazn-agricola.pdf>
- Ghaemi, M.; Astaraei, A. R.; Emami, H.; Nassiri-Mahallati, M. & Sanaeinejad, S. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 14 (4):987-1004
- Gómez-Baggethun, R. de Groot. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 16 (3): 4-14.
- Harvey, CA. (2007). Servicios ecosistémicos y mejores prácticas de manejo en sistemas agrícolas y forestales. In Alpízar, F; Madrigal, R. Bienes y servicios ecosistémicos en América Latina y el Caribe: buenas prácticas, mecanismos de financiamiento y rol del Estado. Turrialba. CR. CATIE. 117p
- Hernández, F., F. Triana y M. Daza. (2009). Efecto de las actividades agropecuarias en la capacidad de infiltración de los suelos del páramo del Sumapaz. *Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente* 8: 29-38.
- Howe C, Suich H, Vira B, Mace GM. (2014). Creating win-wins from tradeoffs? *Ecosystem*

- services for human well-being: A meta-analysis of ecosystem service trade-offs and synergies in the real world. *Global Environmental Change*, 28, 263–275
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2015). *Cultivos de plátano le ganan terreno a los cafetales del Quindío*. Recuperado de <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/f19c740048047066b12fb5a25acefa0b/Cultivos+de+pl%C3%A1tano+Quind%C3%ADo.pdf?MOD=AJPERES>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Bogotá, Colombia.
- IBM SPSS Statistics (2015). *Software estadístico Versión 24*. Recuperado de: <https://www.ibm.com/analytics/co/es/technology/spss/spss-trials.html>
- Klein, V.A.; Libardi, P.L. (2002). Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 26: 857-867.
- Martin-Lopez. (2012). *Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas*. Recuperado de <http://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/338/928>
- Medina Fernández, BY; Muñoz Astaíza, CY. Hagar, J, Aguilar, RM. (2006). Metodología de Evaluación de Servicios Ambientales. *Asociación Nacional del Café ANACAFE*. 39 p
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2005). *La cadena de plátano en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Observatorio Agrocadenas*. Recuperado de <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/cadenas/platano.pdf>

- Pérez, M.( 2010). Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Guía metodológica. Corporación Ambiental Empresarial.Filial de la Cámara de Comercio de Bogotá.
- Pla, L. (1986). *Análisis multivariado métodos de componentes principales*.
- R: The R Project for Statistical Computing. (2016). *Software environment for statistical computing and graphics. Versión 3.3.1*. Recuperado de <https://www.r-project.org/>
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Tan, C. S., Fox, C. A., & Yang, X. M. (2009). Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152(3), 252-263.
- Robinson, J y Saúco, V. (2012). *Bananas and Plantains* 2ND EDITION. Crop Production Science in Horticulture.
- Rydberg, T, G. Gustafson y W. Boonstra. (2007). *Farming in prosperous way down- a systems ecology approach*. En: Brown, M.T. (ed). *Emergy Synthesis: Theory and applications of the emergy methodology. Proceedings of a conference held at Gainesville, FL September 1999*. The Center for Environmental Policy, University of Florida. Gainesville. EE.UU
- Swinton, S. (2007). Ecosystem Services and Agriculture: Cultivating Agricultural Ecosystems for Diverse Benefits. En: *Ecological Economics*, 64. 245-252
- Van den Belt M, Blake D. (2014). Ecosystem services in new Zealand agro-ecosystems: A literature review. *Ecosystem Services*. 9: 115-132
- Zamorano, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol. Econ.* 64 (2), 253–260.